Įvadas į branduolio fiziką

Artūras Acus, acus@itpa.lt

Vilniaus pedagoginis universitetas

VU Teorinės fizikos ir astronomijos institutas

Vasaris, 2008

1 Įvadas ir trumpa apžvalga
- Tvarka ir atsiskaitymai
- Rekomenduojama literatūra
- Kodėl reikalingas branduolio teorijos kursas?

2 Charakteringi dydžiai ir žymėjimai
- Atstumo masteliai branduolio fizikoje
- Branduolių klasifikacija ir jų žymėjimas

3 Ryšio energija. Masės masteliai branduolio fizikoje.

1 XXXXXXXXXXXXXX.

1 XXXXXXXXXXXXXX.

1 XXXXXXXXXXXXXX.

Įvadas

Kursą sudaro dvi lygios dalys (kiekviena po 32 val.)

Antrą dalį skaitys prof. E.Norvaišas.

Vertinimas

Egzaminas. Gera žinia: galinį pažymį rašys prof. E.Norvaišas.
Bloga žinia: jo neišlaikysit, jei šio kurso tarpinis pažymys bus neigiamas.

Kitos vertinimo dalys

Darbas pratybose iki +20% prie egzamino uždavinio

Kursą sudaro dvi lygios dalys (kiekviena po 32 val.)

Antrą dalį skaitys prof. E.Norvaišas.

Vertinimas

Egzaminas. Gera žinia: galinį pažymį rašys prof. E.Norvaišas.
Bloga žinia: jo neišlaikysit, jei šio kurso tarpinis pažymys bus neigiamas.

Kitos vertinimo dalys

Darbas pratybose iki +20% prie egzamino uždavinio

Kursą sudaro dvi lygios dalys (kiekviena po 32 val.)

Antrą dalį skaitys prof. E.Norvaišas.

Vertinimas

Egzaminas. Gera žinia: galinį pažymį rašys prof. E.Norvaišas.
Bloga žinia: jo neišlaikysit, jei šio kurso tarpinis pažymys bus neigiamas.

Kitos vertinimo dalys

Darbas pratybose iki +20% prie egzamino uždavinio

Medžiagos pateikimo tradicijos knygose: istorinė, eksperimentais (phenomenology) grįsta , teorinė. Jų trūkumai ir privalumai.

Pagrindinė literatūra

- Andrius Poškus, „Atomo fizika ir branduolio fizikos eksperimentiniai metodai", VU leidykla, 2008
- H. Horodničius Branduolio fizika, VU leidykla, 1997, 291p.
- Fraunfelder & Henley „Subatomic physics", (rusų kalba **.djvu** formate http://www.itpa.lt/~acus/Knygos/VPU)
- J.-L. Basdevant J. Rich M. Spiro „Fundamentals in Nuclear Physics (from Nuclear Structure to Cosmology)", (**.djvu** formate http://www.itpa.lt/~acus/Knygos/VPU)
- S.A. Page „Nuclear physics. An introduction", 2006, http://www.physics.umanitoba.ca/undergraduate/phys451/lectures_2005.html (kurso, skaitomo Kanados Manitoba universitete paskaitų konspektai **.pdf** formate). Kopijas rasite http://www.itpa.lt/~acus/Knygos/VPU/Page2006

Pagalbinė literatūra

- B. Kaulakys, Branduolinės energetikos fizikiniai pagrindai Vilnius, 2001, (VU paskaitų konspektai), 103 psl., kopija (**.doc** formate) padėta http://www.itpa.lt/~acus/Knygos/VPU/Kaulakys2006
- P. Pipinys Kvarkai ir leptonai, Vilnius, 2002, 136 psl.
- Я. Б. Зельдович, М. Ю. Клопов, "Драма идей в познании природы", Наука, Москва, 1988 (библиотека "Квант" 67)
- Л. Б. Окунь, "$\alpha\beta\gamma\ldots Z$", Наука, Москва, 1985 (библиотека "Квант" 45)
- Dž. B. Merionas, "Fizika ir fizinis pasaulis I, II", Mokslas, 1980

Pagrindiniai branduolinių tyrimų centrai

Berkeley (JAV), GANIL (FR), GSI (DE), Dubna (Rusija)

Atsiradimas ir aktualumas

Aktualumas ir taikymai

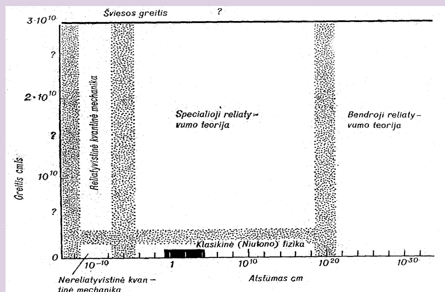
- Mesbauerio spektroskopija (chemikai, struktūros analizė)
- Uolienų amžiaus nustatymas (geologai, istorikai, radioaktyvaus anglies izotopo metodas)
- Radioterapija (medicina, vėžinių ląstelių švitinimas)
- Atominės elektrinės, bombos, laivai, kosminiai palydovai, net lėktuvai.

Branduolio fizikos atsiradimas ir svarbiausi įvykiai

Subatominės fizikos — 1896 metai, kuomet anglas Henri Becquerel (1852 - 1908) atranda radioaktyvumą. 1903 m. Nobelio premija. Kitos datos: 1911 Rutherford'o atomo modelis. Chadwick'o neutrono atradimas 1932 m. Tarpinių W ir Z bozonų atradimas, 1983 m.

Reikalingos žinios branduolio kursui suprasti

Kada teorijos teisingos?

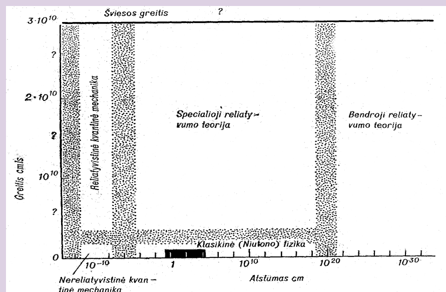


Sąlyginė diagrama, kurios koordinatės atstumas ir greitis, vaizduoja penkių svarbiausių fizikos teorijų taikymo (galiojimo) sritis. Nedidelis juodas stačiakampis apačioje žymi mūsų kasdienio gyvenimo reiškinius

Kokių fizikos žinios būtinos kursui suprasti?

- Elektrodinamika (dauguma dalelių turi elekrinius krūvius)
- Specialioji reliatyvumo teorija (dalelės juda dideliais greičiais, dalelės virsta viena kita)
- Kvantinės mechanikos ir lauko teorijos (energijos lygmenys)

Kada teorijos teisingos?



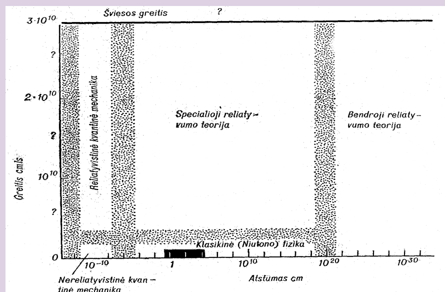
Sąlyginė diagrama, kurios koordinatės atstumas ir greitis, vaizduoja penkių svarbiausių fizikos teorijų taikymo (galiojimo) sritis. Nedidelis juodas stačiakampis apačioje žymi mūsų kasdienio gyvenimo reiškinius

Kokių fizikos žinios būtinos kursui suprasti?

- Elektrodinamika (dauguma dalelių turi elekrinius krūvius)
- Specialioji reliatyvumo teorija (dalelės juda dideliais greičiais, dalelės virsta viena kita)
- Kvantinės mechanikos ir lauko teorijos (energijos lygmenys)

Reikalingos žinios branduolio kursui suprasti

Kada teorijos teisingos?



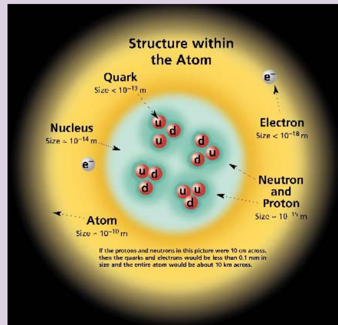
Sąlyginė diagrama, kurios koordinatės atstumas ir greitis, vaizduoja penkių svarbiausių fizikos teorijų taikymo (galiojimo) sritis. Nedidelis juodas stačiakampis apačioje žymi mūsų kasdienio gyvenimo reiškinius

Kokių fizikos žinios būtinos kursui suprasti?

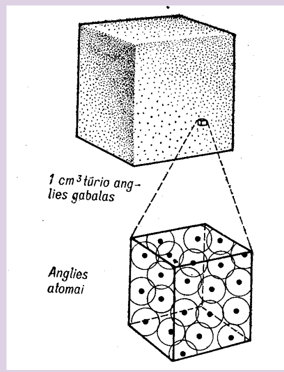
- Elektrodinamika (dauguma dalelių turi elekrinius krūvius)
- Specialioji reliatyvumo teorija (dalelės juda dideliais greičiais, dalelės virsta viena kita)
- Kvantinės mechanikos ir lauko teorijos (energijos lygmenys)

Branduoliniai atstumai, svarbiausios dalelės

Schematiškas atomo ir branduolio matmenų palyginimas

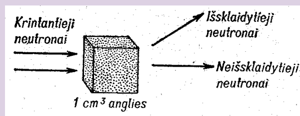


Branduolių tankis medžiagoje



Didesnioji dalis anglies atomų yra uždengiami jau pirmųjų 2-3 paviršinių sluoksnių. Tačiau branduoliau jau yra tokie maži, kad praktiškai vienas kito neuždengia ir visi gabale esantys branduoliai yra matomi!

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

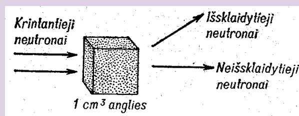
  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale ($1\ \mathrm{cm}^3$): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{\mathrm{sklaidyti}}}{N_{\mathrm{bendras}}} = \frac{10^{24}\sigma}{1\mathrm{cm}^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{\mathrm{sklaidyti}}}{N_{\mathrm{bendras}}} \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{\mathrm{sklaidyti}}}{N_{\mathrm{bendras}}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys) Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Neutronų sklaidos eksperimento schema



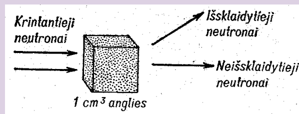
- Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} = \frac{10^{24}\sigma}{1cm^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \cdot 10^{-24} cm^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24} cm^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

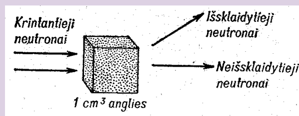
  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} = \frac{10^{24}\sigma}{1cm^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \cdot 10^{-24}cm^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24}cm^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
  Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

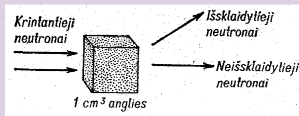
  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} = \frac{10^{24}\sigma}{1\text{cm}^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \cdot 10^{-24}\text{cm}^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24}\text{cm}^2$.
- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys) Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Branduolių tankio ir radiuso matavimas

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

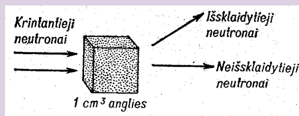
  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} = \frac{10^{24}\sigma}{1cm^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \cdot 10^{-24} cm^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24} cm^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
  Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

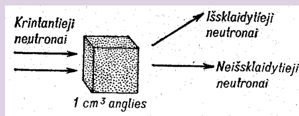
  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} = \frac{10^{24}\sigma}{1cm^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \cdot 10^{-24} cm^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24} cm^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44 A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
  Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale ($1\ \mathrm{cm}^3$): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

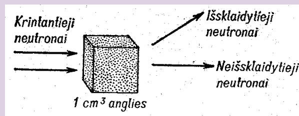
$$\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} = \frac{10^{24}\sigma}{1\mathrm{cm}^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
  Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Branduolių tankio ir radiuso matavimas

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

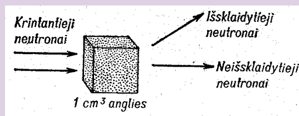
  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} = \frac{10^{24}\sigma}{1 cm^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \cdot 10^{-24} cm^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{sklaidyti}}{N_{bendras}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24} cm^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44 A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys) Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

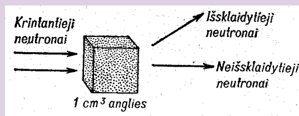
$$\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} = \frac{10^{24}\sigma}{1\mathrm{cm}^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$.

- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
  Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Branduolių tankio ir radiuso matavimas

Neutronų sklaidos eksperimento schema

- 

  Kaip išmatuojamas atomų dydis? Mūsų vertė: 10^{-8} cm.
- Atomų skaičius gabale (1 cm^3): $(10^8)^3 = 10^{24}$
- Branduolio skerspjūvio plotas: $\sigma = \pi R^2$
- Išsklaidytų neutronų santykis su visais:

$$\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} = \frac{10^{24}\sigma}{1\mathrm{cm}^2}$$

- arba $\sigma = \frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$
- Eksperimentinis rezultatas: $\frac{N_{\text{sklaidyti}}}{N_{\text{bendras}}} \approx 0.3$, kitaip: $\sigma = 0.3 \cdot 10^{-24}\mathrm{cm}^2$.
- Žinant plotą lengva rasti anglies branduolio spindulį: $R \approx 3 \cdot 10^{-13}$ cm.
- Daug duomenų gerai aprašanti empirinė branduolio radiuso formulė: $R = 1.44A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ cm, kur A — branduolio masės skaičius
- Žinant branduolio spindulį, galima apskaičiuoti jo tūrį (rutulio tūrio formulė): $V = \frac{4}{3}\pi R^3 \sim A$ ir vidutinį branduolinės medžiagos tankį $\rho_0 \approx 0.15$ nucl. fm^{-3}.
- Išvada: branduolio tūris proporcingas bendram protonų ir neutronų skaičiui branduolyje. Kai prie branduolio pridedami protonai ir neutronai, dalelės nesuartėja: kiekvienas nukleonas užima tą patį tūrį, nesvarbu, koks dalelių skaičius branduolyje. Ši savybė paaiškinama tuo, kad nukleonas sąveikauja ne su visais nukleonais esančiais branduolyje, bet tik su savo artimiausiais kaimynais (branduolinių jėgų artiveika ir įsisotinimo reiškinys)
  Kaip keičiasi atomo dydis ir elektronų debesėlio tankis didinant branduolio krūvį?

Elektronų sklaidos eksperimento rezultatai

Table 1.1. Radii of selected nuclei as determined by electron–nucleus scattering [8]. The size of a nucleus is characterized by r_{rms} (1.11) or by the radius R of the uniform sphere that would give the same r_{rms}. For heavy nuclei, the latter is given approximately by (1.9) as indicated in the fourth column. Note the abnormally large radius of ^{2}H.

nucleus	r_{rms} (fm)	R (fm)	$R/A^{1/3}$ (fm)	nucleus	r_{rms} (fm)	R (fm)	$R/A^{1/3}$ (fm)
^{1}H	0.77	1.0	1.0	^{16}O	2.64	3.41	1.35
^{2}H	2.11	2.73	2.16	^{24}Mg	2.98	3.84	1.33
^{4}He	1.61	2.08	1.31	^{40}Ca	3.52	4.54	1.32
^{6}Li	2.20	2.8	1.56	^{122}Sb	4.63	5.97	1.20
^{7}Li	2.20	2.8	1.49	^{181}Ta	5.50	7.10	1.25
^{9}Be	2.2	2.84	1.37	^{209}Bi	5.52	7.13	1.20
^{12}C	2.37	3.04	1.33				

radius mean squared=vidutinis kvadratinis radiusas:

$$(r_{\rm rms})^2 = \frac{\int r^2 \rho(\mathbf{r}) d^3\mathbf{r}}{\int \rho(\mathbf{r}) d^3}$$

Nenormaliai dideli radiusai (deuteronas,$(r_{\rm rms})^2[^{11}\text{Be}] = 6$ fm, kai tuo tarpu $(r_{\rm rms})^2[^{10}\text{Be}] = 2.5$ fm!). Halo branduoliai.

Branduolių krūvio tankis iš sklaidos elektronais eksperimentų

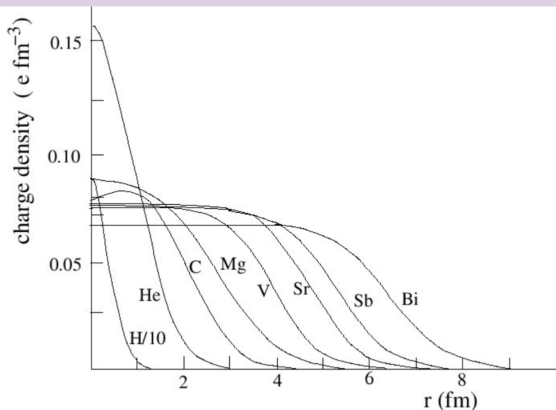


Fig. 1.1. Experimental charge density (e fm^{-3}) as a function of r(fm) as determined in elastic electron–nucleus scattering [8]. Light nuclei have charge distributions that are peaked at $r = 0$ while heavy nuclei have flat distributions that fall to zero over a distance of ~ 2 fm.

Krūvio tankis tiesiogiai nematuojamas.

Žymėjimai, izotopo sąvoka

Branduolių žymėjimo schema

(F&H, 5.9 skyrius)



A — masės skaičius, Z — protonų skaičius, $N = A - Z$ — neutronų skaičius, X žymi cheminį elemento simbolį.

Dažnai naudojamas supaprastintas žymėjimas X^A ar ^AX.

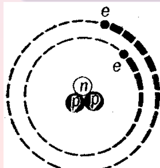
Branduolių klasifikacijos schema

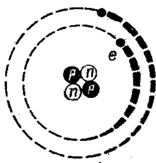
Izobarai — branduoliai su tuo pačiu A

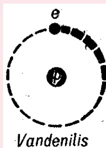
Izotopai — branduoliai su tuo pačiu Z (p — protonas)

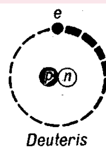
Izotonai — branduoliai su tuo pačiu N (n — neutronas)

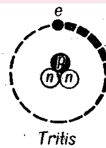
Vandenilio ir helio ... (kas?)











Izomeras — tas pats branduolys, tik esantis sužadintos būsenos, kurios gyvavimo trukmė sąlyginai ilga.

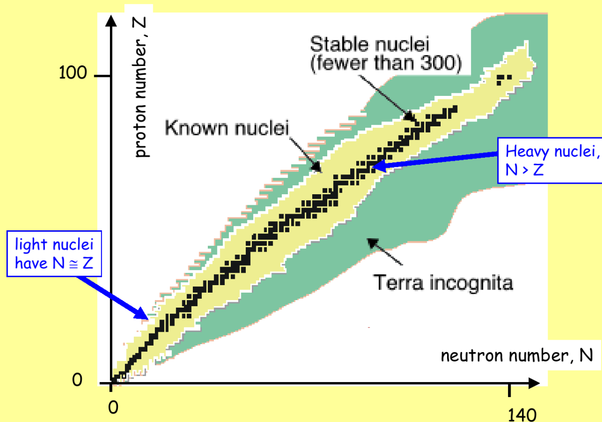
Lengvųjų branduolių izotopai

3.4 *lentelė. Kai kurių elementų lengvųjų elementų izotopų savybės*

Elementas	Z	A	Ženklas	Savybės [1]
Vandenilis	1	1	H^1	Stabilus (99,985%)
	1	2	H^2, arba D^2 (deuteris)	Stabilus (0,015%)
	1	3	H^3, arba T^3 (tritis)	β aktyvus
Helis	2	3	He^3	Stabilus (0,00015%)
	2	4	He^4	Stabilus (99,99985%)
	2	6	He^6	β aktyvus
Litis	3	6	Li^6	Stabilus (7,52%)
	3	7	Li^7	Stabilus (92,48%)
	3	8	Li^8	β aktyvus
Berilis	4	7	Be^7	Radioaktyvus (*e* pagavimas)
	4	8	Be^8	α aktyvus
	4	9	Be^9	Stabilus (100%)
	4	10	Be^{10}	β aktyvus
Boras	5	10	B^{10}	Stabilus (18,7%)
	5	11	B^{11}	Stabilus (81,3%)
	5	12	B^{12}	β aktyvus

Skliausteliuose nurodytas gamtoje randamas izotopų skaičius procentais.

Branduolių stabilumo juosta



Ar egzistuoja stabilumo sala ties $Z = 118$? Stabilių 267, nestabilių ~ 1300.

Sąvoka ir apibrėžimai

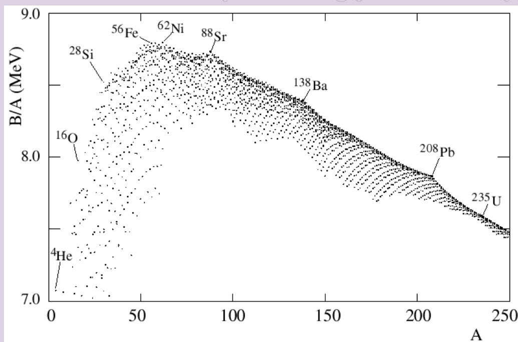
- Apibrėžimas

$$B(A,Z) = Nm_n c^2 + Zm_p c^2 - m(A,Z)c^2$$

Ženklas: apibrėžiama kaip teigiamas dydis $B(A,Z) = -E_B(A,Z)$, kur E_B yra įprastinė ryšio energija.

Palyginkite su atomo ryšio energijos apibrėžimu.

- Vieno nukleono ryšio energija branduolyje B/A.



Ryšio energija

Sąvoka ir apibrėžimai

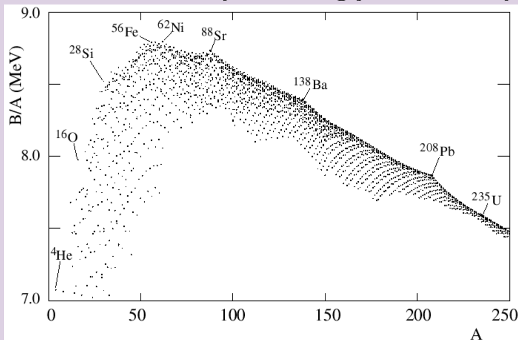
- Apibrėžimas

$$B(A,Z) = Nm_n c^2 + Zm_p c^2 - m(A,Z)c^2$$

Ženklas: apibrėžiama kaip teigiamas dydis $B(A,Z) = -E_B(A,Z)$, kur E_B yra įprastinė ryšio energija.

Palyginkite su atomo ryšio energijos apibrėžimu.

- Vieno nukleono ryšio energija branduolyje B/A.



Ryšio energija

Savybės

- Iš pradžių didėja, pasiekia maksimumą ties $A \approx 55 - 60$ (geležis – nikelis), po to palengva mažėja. Išvada: energija gali išsiskirti lengviems branduoliams jungiantis (fussion), o sunkiems skylant (fission).
- Didesniems už, tarkime $A > 12$, ryšio energiją galime laikyti adityviu dydžiu (t.y. ji proporcinga nukleonų skaičiui branduolyje): $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV. Tiksliau: $7.7MeV < B(A, Z)/A < 8.8MeV$, kai $12 < A < 225$. Teorinis paaiškinimas: Branduolinės jėgos yra artiveikės ir nukleonai sąveikauja tik su savo artimiausiais kaimynais. Jei sąveikotų visi nukleonai poromis, tai $B(A, Z)/A \sim \frac{1}{2A} A(A - 1)$.

Ryšio energija

Savybės

- Iš pradžių didėja, pasiekia maksimumą ties $A \approx 55 - 60$ (geležis – nikelis), po to palengva mažėja. Išvada: energija gali išsiskirti lengviems branduoliams jungiantis (fussion), o sunkiems skylant (fission).
- Didesniems už, tarkime $A > 12$, ryšio energiją galime laikyti adityviu dydžiu (t.y. ji proporcinga nukleonų skaičiui branduolyje): $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV. Tiksliau: $7.7 MeV < B(A, Z)/A < 8.8 MeV$, kai $12 < A < 225$. Teorinis paaiškinimas: Branduolinės jėgos yra artiveikės ir nukleonai sąveikauja tik su savo artimiausiais kaimynais. Jei sąveikotų visi nukleonai poromis, tai $B(A, Z)/A \sim \frac{1}{2A} A(A-1)$.

Ryšio energija

Savybės

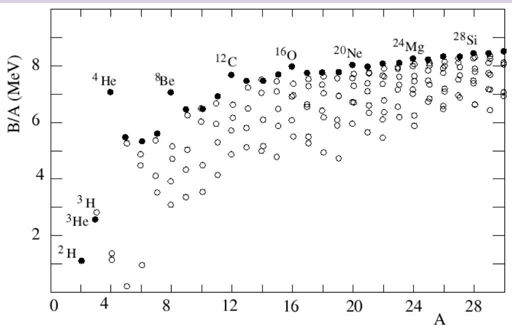
- Dėsnis $B(A, Z) \approx A$ derinasi su branduolio radiuso empiriniu dėsniu $R = r_0 A^{1/3}$. Pagal kvantinės mechanikos neapbrėžtumo sąryšį kiekvienam impulso sandui teisinga nelygybė $\Delta p_i \Delta x_i \approx \hbar$. Kadangi nukleonas apribotas branduolio tūriu $\frac{4\pi}{3}R^3$, tai galime laikyti, kad vieno nukleono tūris $\sim R^3/A$. Tada jo tiesiniai matmenys: $\Delta x_i \approx A^{-1/3}R$. Impulso sando neapibrėžtumas: $\Delta p_i \approx \hbar \frac{A^{1/3}}{R}$. Surištam branduolyje kiekvieno nukleono sando impulso vidurkis turi būti nulis $\langle p_i \rangle = 0$. Todėl sando impulso pokyčio kvadratas tiesiog lygus impulso sando kvadrato vidurkiui: $(\Delta p_i)^2 = (p_i - \langle p_i \rangle)^2 = \left\langle p_i^2 \right\rangle - \langle p_i \rangle^2 = \left\langle p_i^2 \right\rangle$. Kinetinė energija $\sim \frac{\left\langle p_i^2 \right\rangle}{2m} \approx \frac{\hbar^2}{2m}\frac{A^{2/3}}{R^2}$. Kadangi, pagal empirinį dėsnį $R = r_0 A^{1/3}$, tai kinetinė kiekvieno nukleono energija yra tokia pati visuose branduoliuose. Todėl ir potencinė (ryšio) energija neturėtų priklausyti nuo A. Kodėl?

Ryšio energija

Savybės

- Kaip matyti, kai kurie branduoliai yra ypatingai stipriai surišti lyginant su savo kaimynais: ^{4}He, ^{12}C, ^{16}O. Tai aiškina sluoksninis (angl. shell) branduolio modelis. Palyginkite su inertinių dujų atomų savybėmis.

Vieno nukleono ryšio energija branduolyje B/A.



Masės vienetų rūšys

Ryšio energija buvo apibrėžta per branduolių mases. Daugeliui branduolių masės išmatuotos 10^{-8} tikslumu. Kokiu tikslumu tada žinomos ryšio energijos? Geriausių teorinių branduolio modelių tikslumas ryšio energijai $\leq 10^{-4}$. Yra 3 masės vienetų rūšys:

- mikroskopiniai (atominis masės vienetas, u) $m(^{12}C_{atomo}) \equiv 12$u. Kodėl ^{12}C? Kitų atomų, dalelių, branduolių masės randamos matuojant masių santykius.
- makroskopiniai (kilogramas, kg) Platinos-iridžio lydinio saugomo Paryžiaus priemiestyje Sevres masė.
- mikroskopiniai–makroskopiniai (elektronvoltas, eV) Apibrėžiamas kaip kinetinė energija elektrono, kurią jis įgauna pagreitintas 1 V potencialų skirtumo. Kaip susiję masės ir energijos vienetai?

Masės vienetų rūšys

Ryšio energija buvo apibrėžta per branduolių mases. Daugeliui branduolių masės išmatuotos 10^{-8} tikslumu. Kokiu tikslumu tada žinomos ryšio energijos? Geriausių teorinių branduolio modelių tikslumas ryšio energijai $\leq 10^{-4}$. Yra 3 masės vienetų rūšys:

- mikroskopiniai (atominis masės vienetas, u) $m(^{12}C_{atomo}) \equiv 12$u. Kodėl ^{12}C? Kitų atomų, dalelių, branduolių masės randamos matuojant masių santykius.
- makroskopiniai (kilogramas, kg) Platinos-iridžio lydinio saugomo Paryžiaus priemiestyje Sevres masė.
- mikroskopiniai–makroskopiniai (elektronvoltas, eV) Apibrėžiamas kaip kinetinė energija elektrono, kurią jis įgauna pagreitintas 1 V potencialų skirtumo. Kaip susiję masės ir energijos vienetai?

Masės vienetai ir branduolių masių matavimas

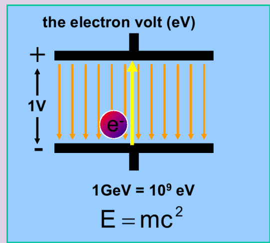
Masės vienetų rūšys

Ryšio energija buvo apibrėžta per branduolių mases. Daugeliui branduolių masės išmatuotos 10^{-8} tikslumu. Kokiu tikslumu tada žinomos ryšio energijos? Geriausių teorinių branduolio modelių tikslumas ryšio energijai $\leq 10^{-4}$. Yra 3 masės vienetų rūšys:

- mikroskopiniai (atominis masės vienetas, u) $m(^{12}C_{atomo}) \equiv 12$u. Kodėl ^{12}C? Kitų atomų, dalelių, branduolių masės randamos matuojant masių santykius.
- makroskopiniai (kilogramas, kg) Platinos-iridžio lydinio saugomo Paryžiaus priemiestyje Sevres masė.
- mikroskopiniai–makroskopiniai (elektronvoltas, eV) Apibrėžiamas kaip kinetinė energija elektrono, kurią jis įgauna pagreitintas 1 V potencialų skirtumo. Kaip susiję masės ir energijos vienetai?

Masės vienetai ir branduolių masių matavimas

Elektronvolto apibrėžimas



Kodėl ne-nurodytas atstumas tarp plokštelių?

Natūralūs vienetai

energy	[eV]	1 eV	$= 1.60328 \cdot 10^{-13}$ J
length	[eV^{-1}]	1 cħ/eV	$= 1.97327 \cdot 10^{-7}$ m
time	[eV^{-1}]	1 ħ/eV	$= 6.58212 \cdot 10^{-16}$ s
mass	[eV]	1 eV/c^2	$= 1.78266 \cdot 10^{-36}$ kg
temperature	[eV]	1 eV/k	$= 1.16044 \cdot 10^{4}$ K

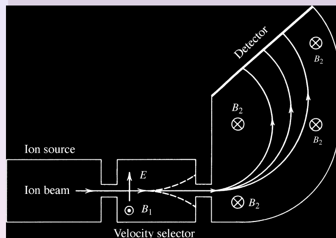
Tikslios svarbiausių dalelių masės

Table 1.2. Masses and rest energies for some important particles and nuclei. As explained in the text, mass ratios of charged particles or ions are most accurately determined by using mass spectrometers or Penning trap measurements of cyclotron frequencies. Combinations of ratios of various ions allows one to find the ratio of any mass to that of the ^{12}C atom which is defined as 12 u. Masses can be converted to rest energies accurately by using the theoretically calculable hydrogen atomic spectrum. The neutron mass is derived accurately from a determination of the deuteron binding energy.

particle	mass m (u)	mc^2 (MeV)
electron e	$5.485\,799\,03\,(13) \times 10^{-4}$	0.510 998 902 (21)
proton p	1.007 276 470 (12)	938.271 998 (38)
neutron n	1.008 664 916 (82)	939.565 33 (4)
deuteron d	2.013 553 210 (80)	1875.612 762 (75)
^{12}C atom	12 (exact)	$12 \times 931.494\,013\,(37)$

Eksperimentiškai matuojami masių santykiai. Su makroskopiniais vienetais susiejama tiksliai teoriškai sprendžiant vandenilio uždavinį. Neutrono masė apskaičiuojama iš deuterono ryšio energijos.

Masių spektroskopo principinė schema



Apskritimu judančio kūno pagreičių grafikas

$$\frac{\Delta x}{|r|} = \frac{\Delta v}{|v|} \rightarrow \Delta v = \frac{v \Delta x}{r}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r}\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{|v|^2}{r}$$

$$|F| = m|a| = q|v||B|$$

$$a = \frac{q|v||B|}{m} = \frac{|v|^2}{r}$$

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

jei $B_1 = B_2;$ tai $qE = q|v||B|$

$v = \frac{E}{B}$ ir galutinai $\frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 r}$

$$r = \frac{mE}{qB^2}$$

Masės vienetai ir branduolių masių matavimas

Dvigumo fokusavimo masių spektroskopo schema

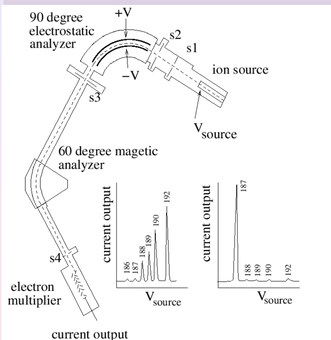
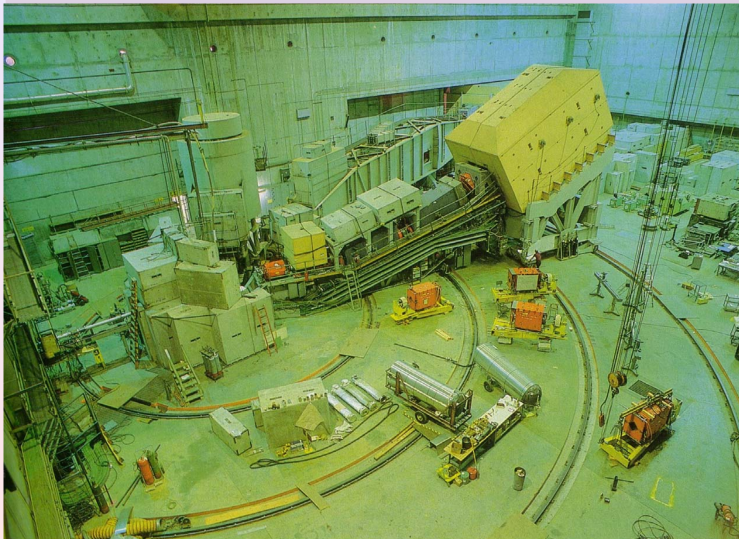
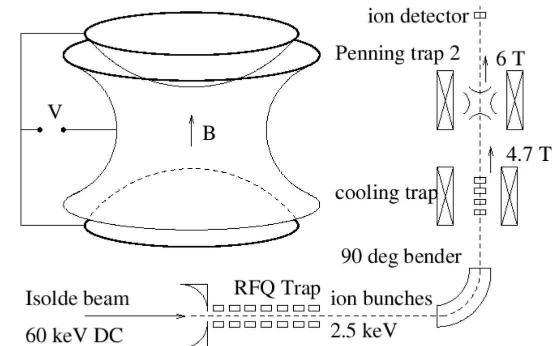


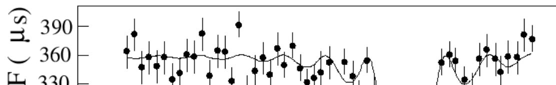
Fig. 1.3. A schematic of a "double-focusing" mass spectrometer [9]. Ions are accelerated from the source at potential $V_{\rm source}$ through the beam defining slit S_2 at ground potential. The ions are then electrostatically deviated through 90 deg and then magnetically deviated through 60 deg before impinging on the detector at slit S_4. This combination of fields is "double focusing" in the sense that ions of a given mass are focused at S_4 independent of their energy and direction at the ion source. Mass ratios of two ions are equal to the voltage ratios leading to the same trajectories. The inset shows two mass spectra [10] obtained with sources of OsO_2 with the spectrometer adjusted to focus singly ionized molecules OsO_2^+. The spectra show the output current as a function of accelerating potential and show peaks corresponding to the masses of the long-lived osmium isotopes, ^{186}Os$-^{192}$Os. The spectrum on the left is for a sample of terrestrial osmium and the heights of the peaks correspond to the natural abundances listed in Appendix G. The spectrum on the right is for a sample of osmium extracted from a mineral containing rhenium but little natural osmium. In this case the spectrum is dominated by ^{187}Os from the β-decay $^{187}\mathrm{Re} \to {}^{187}\mathrm{Os}e^-\bar{\nu}_e$ with $t_{1/2} = 4.15 \times 10^{10}$yr (see Exercise 1.15).

Spektrometras laboratorijoje



Penningo spąstai





2 Paskaita
Įvadas ir trumpa apžvalga
Tvarka ir atsiskaitymai
Rekomenduojama literatūra
Kodėl reikalingas branduolio teorijos kursas?
Charakteringi dydžiai ir žymėjimai
Atstumo masteliai branduolio fizikoje
Branduolių klasifikacija ir jų žymėjimas
Ryšio energija. Masės masteliai branduolio fizikoje.
XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXX

Penningo spąstai

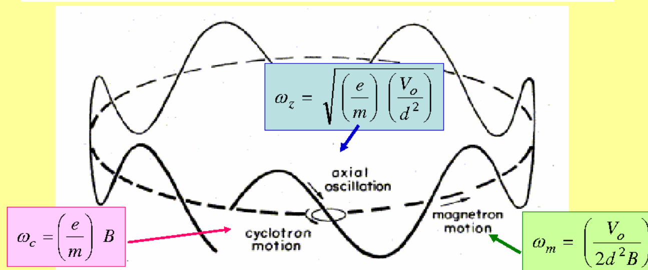


FIG. 3. Orbit of a charged particle in a Penning trap. The dashed line is the large and slow magnetron circle component of the motion. This, added to the axial oscillation, produces the guiding-center motion shown by the solid line. The total motion is given by adding the fast but small cyclotron circular motion about this moving guiding center.

1 Įvadas ir trumpa apžvalga
- Tvarka ir atsiskaitymai
- Rekomenduojama literatūra
- Kodėl reikalingas branduolio teorijos kursas?

2 Charakteringi dydžiai ir žymėjimai
- Atstumo masteliai branduolio fizikoje
- Branduolių klasifikacija ir jų žymėjimas

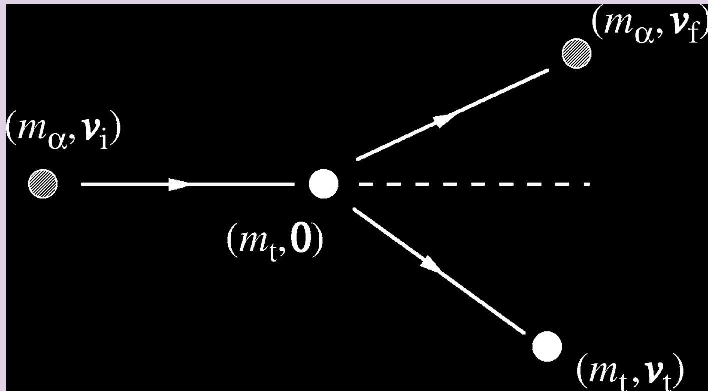
3 Ryšio energija. Masės masteliai branduolio fizikoje.

1 XXXXXXXXXXXXXX.

1 XXXXXXXXXXXXXX.

1 XXXXXXXXXXXXXX.

Labai trumpai gyvuojančių dalelių masių apskaičiavimas



Nejudančio branduolio sklaida α dalelėmis.

Branduolinės sąveikos savybės

Reik susipažinti, norint konstruoti teorinius modelius

Svarbiausios savybės

- Pasekmės: jėga įsisotina B/A santykiai: deuterono 1.1 MeV, tričio 2.83 MeV, He arba α dalelės 7.04 MeV
  Neegzistuoja stabilių branduolių su 5 ir 8 nukleonais
- Krūvinė branduolinių jėgų nepriklausa ($n \leftrightarrow p$) (žr sekančią skaidrę)
- Branduolinių jėgų priklausomybė nuo sukinio (orto ir para vandenilio molekulės)
  Deuterono sukinys: 1 (nėra dviejų dalelių branduolio su sukiniu 0!)
  H_2 molekulių eksperimentas. Tenzorinės jėgos sąvoka

Branduolinės sąveikos savybės

Reik susipažinti, norint konstruoti teorinius modelius

Svarbiausios savybės

- Pasekmės: jėga įsisotina B/A santykiai: deuterono 1.1 MeV, tričio 2.83 MeV, He arba α dalelės 7.04 MeV Neegzistuoja stabilių branduolių su 5 ir 8 nukleonais
- Krūvinė branduolinių jėgų neprieklausa ($n \leftrightarrow p$) (žr sekančią skaidrę)
- Branduolinių jėgų priklausomybė nuo sukinio (orto ir para vandenilio molekulės)
  Deuterono sukinys: 1 (nėra dviejų dalelių branduolio su sukiniu 0!)
  H_2 molekulių eksperimentas. Tenzorinės jėgos sąvoka

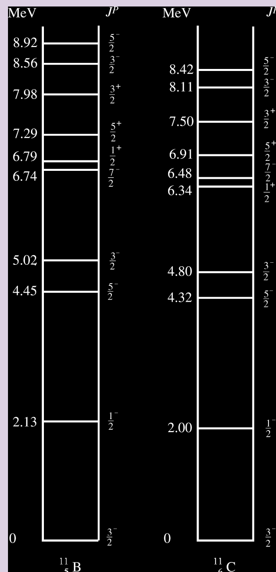
Branduolinės sąveikos savybės

Reik susipažinti, norint konstruoti teorinius modelius

Svarbiausios savybės

- Pasekmės: jėga įsisotina B/A santykiai: deuterono 1.1 MeV, tričio 2.83 MeV, He arba α dalelės 7.04 MeV Neegzistuoja stabilių branduolių su 5 ir 8 nukleonais
- Krūvinė branduolinių jėgų neprieklausa ($n \leftrightarrow p$) (žr sekančią skaidrę)
- Branduolinių jėgų priklausomybė nuo sukinio (orto ir para vandenilio molekulės)
  Deuterono sukinys: 1 (nėra dviejų dalelių branduolio su sukiniu 0!)
  H_2 molekulių eksperimentas. Tenzorinės jėgos sąvoka

Krūvinė branduolinių jėgų nepriklausa



Dažniausiai naudojami potencialai

- Stačiakampė duobė
- Gausso

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- Eksponentinis

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

- Jukawos

$$V(r) = -V_0 \frac{\exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}{\frac{r}{r_0}}$$

- Potencialas su atstumiančia šerdimi
- „Realistinis" (apie 130 parametrų)

Dažniausiai naudojami potencialai

- Stačiakampė duobė
- Gausso

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- Eksponentinis

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

- Jukawos

$$V(r) = -V_0 \frac{\exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}{\frac{r}{r_0}}$$

- Potencialas su atstumiančia šerdimi
- „Realistinis” (apie 130 parametrų)

Branduolinės sąveikos savybės

Dažniausiai naudojami potencialai

- Stačiakampė duobė
- Gausso

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- Eksponentinis

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

- Jukawos

$$V(r) = -V_0 \frac{\exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}{\frac{r}{r_0}}$$

- Potencialas su atstumiančia šerdimi
- „Realistinis" (apie 130 parametrų)

Branduolinės sąveikos savybės

Dažniausiai naudojami potencialai

- Stačiakampė duobė
- Gausso

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- Eksponentinis

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

- Jukawos

$$V(r) = -V_0 \frac{\exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}{\frac{r}{r_0}}$$

- Potencialas su atstumiančia šerdimi
- „Realistinis” (apie 130 parametrų)

Branduolinės sąveikos savybės

Dažniausiai naudojami potencialai

- Stačiakampė duobė
- Gausso

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- Eksponentinis

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

- Jukawos

$$V(r) = -V_0 \frac{\exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}{\frac{r}{r_0}}$$

- Potencialas su atstumiančia šerdimi
- „Realistinis" (apie 130 parametrų)

Branduolinės sąveikos savybės

Dažniausiai naudojami potencialai

- Stačiakampė duobė
- Gausso

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)^2$$

- Eksponentinis

$$V(r) = -V_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

- Jukawos

$$V(r) = -V_0 \frac{\exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}{\frac{r}{r_0}}$$

- Potencialas su atstumiančia šerdimi
- „Realistinis" (apie 130 parametrų)

Branduolinės sąveikos savybės

Branduolinio lauko kvantas

Jukawa: $\Delta E \Delta t \approx \hbar$ Apie $200 m_e$.

1. Įvadas ir trumpa apžvalga
   - Tvarka ir atsiskaitymai
   - Rekomenduojama literatūra
   - Kodėl reikalingas branduolio teorijos kursas?
2. Charakteringi dydžiai ir žymėjimai
   - Atstumo masteliai branduolio fizikoje
   - Branduolių klasifikacija ir jų žymėjimas
3. Ryšio energija. Masės masteliai branduolio fizikoje.
1. XXXXXXXXXXXXXX.
1. XXXXXXXXXXXXXX.
1. XXXXXXXXXXXXXX.

Pudingo modelis ir azoto katastrofa

$$^{1}4_{7}N = 14p + 7e$$

(21 dalelė)

- Statistika:Fermionai ir bozonai. Eksperimentas: N – bozonas
- Sukinys pusinis. Eksperimentas N – sukinys sveikas
- Branduolio magnetiniai momentai yra šimtus kartų mažesni už elektrono
- Elektrono banginė funkcija netelpa branduolyje: $p = h\nu = \frac{h}{\lambda}$ (De Broilio bangos ilgis)

Viskas susitvarkė atradus neutroną.

Pudingo modelis ir azoto katastrofa

$$^14_7N = 14p + 7e$$

(21 dalelė)

- Statistika:Fermionai ir bozonai. Eksperimentas: N – bozonas
- Sukinys pusinis. Eksperimentas N – sukinys sveikas
- Branduolio magnetiniai momentai yra šimtus kartų mažesni už elektrono
- Elektrono banginė funkcija netelpa branduolyje: $p = h\nu = \frac{h}{\lambda}$ (De Broilio bangos ilgis)

Viskas susitvarkė atradus neutroną.

Branduolio modeliai

Pudingo modelis ir azoto katastrofa

$$^14_7N = 14p + 7e$$

(21 dalelė)

- Statistika:Fermionai ir bozonai. Eksperimentas: N – bozonas
- Sukinys pusinis. Eksperimentas N – sukinys sveikas
- Branduolio magnetiniai momentai yra šimtus kartų mažesni už elektrono
- Elektrono banginė funkcija netelpa branduolyje: $p = h\nu = \frac{h}{\lambda}$ (De Broilio bangos ilgis)

Viskas susitvarkė atradus neutroną.

Branduolio modeliai

Pudingo modelis ir azoto katastrofa

$$ {}^{1}4_{7}N = 14p + 7e $$

(21 dalelė)

- Statistika:Fermionai ir bozonai. Eksperimentas: N – bozonas
- Sukinys pusinis. Eksperimentas N – sukinys sveikas
- Branduolio magnetiniai momentai yra šimtus kartų mažesni už elektrono
- Elektrono banginė funkcija netelpa branduolyje: $p = h\nu = \frac{h}{\lambda}$ (De Broilio bangos ilgis)

Viskas susitvarkė atradus neutroną.

Branduolio modeliai

Klasifikacija

- Viendaleliai modeliai: kiekvienas branduolio nukleonas juda kitų nukleonų sukurtame lauke (pavyzdys sluoksninis modelis)
- Kolektyviniai modeliai: negalima išskirti atskiro nukleono. Branduolį aprašo kaip visumą. (pavyzdys lašelinis modelis, Skyrme'o modelis..)
- Apibendrintieji

Kodėl nėra nuoseklios branduolio teorijos?

- Iki šiol nėra žinoma dviejų nukleonų sąveikos jėgos matematinė išraiška
- Daugelio dalelių kvantinės mechanikos lygtys yra pernelyg sudėtingos (nemokam išspręst)
- Dėl stiprios sąveikos tarp nukleonų būtina atsižvelgti į kolektyvinį judėjimą, tačiau branduolyje per mažai dalelių, kad galėtume jį laikyti vienalyte terpe. T.y. statistikiniai metodai branduolyje neveikia.

Branduolio modeliai

Klasifikacija

- Viendaleliai modeliai: kiekvienas branduolio nukleonas juda kitų nukleonų sukurtame lauke (pavyzdys sluoksninis modelis)
- Kolektyviniai modeliai: negalima išskirti atskiro nukleono. Branduolį aprašo kaip visumą. (pavyzdys lašelinis modelis, Skyrme'o modelis..)
- Apibendrintieji

Kodėl nėra nuoseklios branduolio teorijos?

- Iki šiol nėra žinoma dviejų nukleonų sąveikos jėgos matematinė išraiška
- Daugelio dalelių kvantinės mechanikos lygtys yra pernelyg sudėtingos (nemokam išspręst)
- Dėl stiprios sąveikos tarp nukleonų būtina atsižvelgti į kolektyvinį judėjimą, tačiau branduolyje per mažai dalelių, kad galėtume jį laikyti vienalyte terpe. T.y. statistikiniai metodai branduolyje neveikia.

Klasifikacija

- Viendaleliai modeliai: kiekvienas branduolio nukleonas juda kitų nukleonų sukurtame lauke (pavyzdys sluoksninis modelis)
- Kolektyviniai modeliai: negalima išskirti atskiro nukleono. Branduolį aprašo kaip visumą. (pavyzdys lašelinis modelis, Skyrme'o modelis..)
- Apibendrintieji

Kodėl nėra nuoseklios branduolio teorijos?

- Iki šiol nėra žinoma dviejų nukleonų sąveikos jėgos matematinė išraiška
- Daugelio dalelių kvantinės mechanikos lygtys yra pernelyg sudėtingos (nemokam išspręst)
- Dėl stiprios sąveikos tarp nukleonų būtina atsižvelgti į kolektyvinį judėjimą, tačiau branduolyje per mažai dalelių, kad galėtume jį laikyti vienalyte terpe. T.y. statistikiniai metodai branduolyje neveikia.

Branduolio modeliai

Remiasi panašumu su skysčiu.

Lašelinio modelio eksperimentinės prielaidos

- Vienam nukleonui tenkanti ryšio energija $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV.
- Branduolyje susidaro paviršinės įtempimo jėgos, kurių energija proporcinga plotui.
- Tarp protonų veikia Colomb (kulono) stūmos jėgos.
- Stabilesni yra simetriškesni branduoliai $N = Z = \frac{A}{2}$.
- Turintys lyginį protonų ar neutronų skaičių yra stabilesni.

Remiasi panašumu su skysčiu.

Lašelinio modelio eksperimentinės prielaidos

- Vienam nukleonui tenkanti ryšio energija $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV.
- Branduolyje susidaro paviršinės įtempimo jėgos, kurių energija proporcinga plotui.
- Tarp protonų veikia Colomb (kulono) stūmos jėgos.
- Stabilesni yra simetriškesni branduoliai $N = Z = \frac{A}{2}$.
- Turintys lyginį protonų ar neutronų skaičių yra stabilesni.

Branduolio modeliai

Remiasi panašumu su skysčiu.

Lašelinio modelio eksperimentinės prielaidos

- Vienam nukleonui tenkanti ryšio energija $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV.
- Branduolyje susidaro paviršinės įtempimo jėgos, kurių energija proporcinga plotui.
- Tarp protonų veikia Colomb (kulono) stūmos jėgos.
- Stabilesni yra simetriškesni branduoliai $N = Z = \frac{A}{2}$.
- Turintys lyginį protonų ar neutronų skaičių yra stabilesni.

Remiasi panašumu su skysčiu.

Lašelinio modelio eksperimentinės prielaidos

- Vienam nukleonui tenkanti ryšio energija $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV.
- Branduolyje susidaro paviršinės įtempimo jėgos, kurių energija proporcinga plotui.
- Tarp protonų veikia Colomb (kulono) stūmos jėgos.
- Stabilesni yra simetriškesni branduoliai $N = Z = \frac{A}{2}$.
- Turintys lyginį protonų ar neutronų skaičių yra stabilesni.

Remiasi panašumu su skysčiu.

Lašelinio modelio eksperimentinės prielaidos

- Vienam nukleonui tenkanti ryšio energija $B(A, Z) \approx A \times 8$ MeV.
- Branduolyje susidaro paviršinės įtempimo jėgos, kurių energija proporcinga plotui.
- Tarp protonų veikia Colomb (kulono) stūmos jėgos.
- Stabilesni yra simetriškesni branduoliai $N = Z = \frac{A}{2}$.
- Turintys lyginį protonų ar neutronų skaičių yra stabilesni.

Lašelinis modelis

- Branduolio masės formulė
  $m(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n + \text{pataisos}$
- Tūrinė pataisa $\Delta m_1 = -a_1 A$ (mažina)
- Paviršinė pataisa $\Delta m_2 = a_2 A^{\frac{2}{3}}$ ($S \sim R^2$, didina)
- Coloumb pataisa $\Delta m_3 = a_3 Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$ ($F \sim \frac{q^2}{R}$, didina)
- Asimetrijos pataisa $\Delta m_4 = a_1 \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A}$ (didina)
- Lyginumo pataisa

$$\Delta m_5 = \delta(Z, A) \begin{cases} -0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{lyginiai-lyginiai} \\ 0 & \text{lyginiai-nelyginiai} \\ +0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{nelyginiai-nelyginiai} \end{cases}$$

(mažina/nekeičia/didina)

Lašelinis modelis

- Branduolio masės formulė
  $m(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n +$ pataisos
- Tūrinė pataisa $\Delta m_1 = -a_1 A$ (mažina)
- Paviršinė pataisa $\Delta m_2 = a_2 A^{\frac{2}{3}}$ ($S \sim R^2$, didina)
- Coloumb pataisa $\Delta m_3 = a_3 Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$ ($F \sim \frac{q^2}{R}$, didina)
- Asimetrijos pataisa $\Delta m_4 = a_1 \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A}$ (didina)
- Lyginumo pataisa

$$\Delta m_5 = \delta(Z, A) \begin{cases} -0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{lyginiai-lyginiai} \\ 0 & \text{lyginiai-nelyginiai} \\ +0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{nelyginiai-nelyginiai} \end{cases}$$

(mažina/nekeičia/didina)

Branduolio modeliai

Lašelinis modelis

- Branduolio masės formulė
  $m(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n +$ pataisos
- Tūrinė pataisa $\Delta m_1 = -a_1 A$ (mažina)
- Paviršinė pataisa $\Delta m_2 = a_2 A^{\frac{2}{3}}$ ($S \sim R^2$, didina)
- Coloumb pataisa $\Delta m_3 = a_3 Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$ ($F \sim \frac{q^2}{R}$, didina)
- Asimetrijos pataisa $\Delta m_4 = a_1 \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A}$ (didina)
- Lyginumo pataisa

$$\Delta m_5 = \delta(Z, A) \begin{cases} -0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{lyginiai-lyginiai} \\ 0 & \text{lyginiai-nelyginiai} \\ +0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{nelyginiai-nelyginiai} \end{cases}$$

(mažina/nekeičia/didina)

Lašelinis modelis

- Branduolio masės formulė
  $m(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n +$ pataisos
- Tūrinė pataisa $\Delta m_1 = -a_1 A$ (mažina)
- Paviršinė pataisa $\Delta m_2 = a_2 A^{\frac{2}{3}}$ ($S \sim R^2$, didina)
- Coloumb pataisa $\Delta m_3 = a_3 Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$ ($F \sim \frac{q^2}{R}$, didina)
- Asimetrijos pataisa $\Delta m_4 = a_1 \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A}$ (didina)
- Lyginumo pataisa

$$\Delta m_5 = \delta(Z, A) \begin{cases} -0.036A^{-\frac{3}{4}} & \text{lyginiai-lyginiai} \\ 0 & \text{lyginiai-nelyginiai} \\ +0.036A^{-\frac{3}{4}} & \text{nelyginiai-nelyginiai} \end{cases}$$

(mažina/nekeičia/didina)

Lašelinis modelis

- Branduolio masės formulė
  $m(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n + \text{pataisos}$
- Tūrinė pataisa $\Delta m_1 = -a_1 A$ (mažina)
- Paviršinė pataisa $\Delta m_2 = a_2 A^{\frac{2}{3}}$ ($S \sim R^2$, didina)
- Coloumb pataisa $\Delta m_3 = a_3 Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$ ($F \sim \frac{q^2}{R}$, didina)
- Asimetrijos pataisa $\Delta m_4 = a_1 \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A}$ (didina)
- Lyginumo pataisa

$$\Delta m_5 = \delta(Z, A) \begin{cases} -0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{lyginiai-lyginiai} \\ 0 & \text{lyginiai-nelyginiai} \\ +0.036 A^{-\frac{3}{4}} & \text{nelyginiai-nelyginiai} \end{cases}$$

(mažina/nekeičia/didina)

Branduolio modeliai

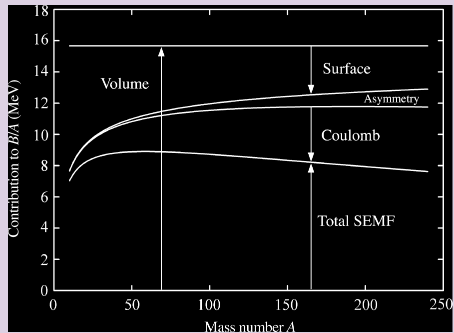
Lašelinis modelis

- Branduolio masės formulė
  $m(A,Z) = Zm_p + (A-Z)m_n +$ pataisos
- Tūrinė pataisa $\Delta m_1 = -a_1 A$ (mažina)
- Paviršinė pataisa $\Delta m_2 = a_2 A^{\frac{2}{3}}$ ($S \sim R^2$, didina)
- Coloumb pataisa $\Delta m_3 = a_3 Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$ ($F \sim \frac{q^2}{R}$, didina)
- Asimetrijos pataisa $\Delta m_4 = a_1 \frac{\left(\frac{A}{2}-Z\right)^2}{A}$ (didina)
- Lyginumo pataisa

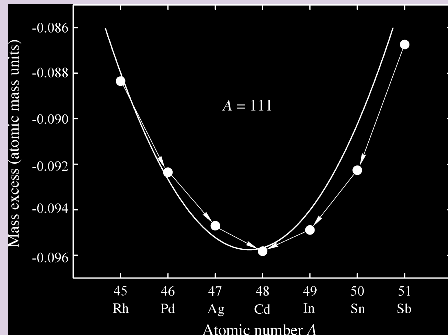
$$\Delta m_5 = \delta(Z,A) \begin{cases} -0.036A^{-\frac{3}{4}} & \text{lyginiai-lyginiai} \\ 0 & \text{lyginiai-nelyginiai} \\ +0.036A^{-\frac{3}{4}} & \text{nelyginiai-nelyginiai} \end{cases}$$

(mažina/nekeičia/didina)

Pataisų lyginamasis svoris

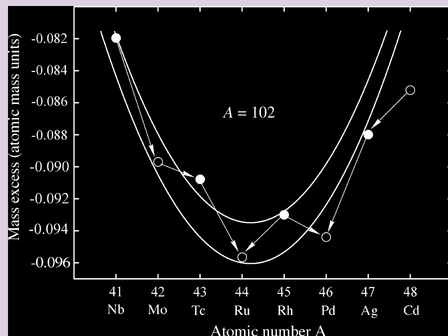


Nelyginis A



Nelyginiam masės skaičiui gali būti tik vienas stabilus nuklidas (nėra izobarų)

Lyginis A



Stabilieji izobarai galimi tik lyginiams-lyginiams nuklidams. Jie priklauso elementams, kurių Z skiriasi per 2.

Įvadas ir trumpa apžvalga
Tvarka ir atsiskaitymai
Rekomenduojama literatūra
Kodėl reikalingas branduolio teorijos kursas?
Charakteringi dydžiai ir žymėjimai
Atstumo masteliai branduolio fizikoje
Branduolių klasifikacija ir jų žymėjimas
Ryšio energija. Masės masteliai branduolio fizikoje.
XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXX

Sluoksninis modelis

- Leidžia apskaičiuoti branduolių sukinius (vėliau)
- Geba paaiškinti magiškuosius skaičius.
  Jie yra (eksperimentiškai stebėti):
  Neutronams: 2,8,20,28,50,82,126
  Protonams: 2,8,20,28,50,82
  Atome: 2,10,18(Ar),36,54,...
- Ne taip sėkmingai prognozuoja branduolių magnetinius momentus

Kodėl atsiranda sluoksniai? Pavyzdys

Branduolio modeliai

Sluoksninis modelis

- Leidžia apskaičiuoti branduolių sukinius (vėliau)
- Geba paaiškinti magiškuosius skaičius.
  Jie yra (eksperimentiškai stebėti):
  Neutronams: 2,8,20,28,50,82,126
  Protonams: 2,8,20,28,50,82
  Atome: 2,10,18(Ar),36,54,...
- Ne taip sėkmingai prognozuoja branduolių magnetinius momentus

Kodėl atsiranda sluoksniai? Pavyzdys

Sluoksninis modelis

- Leidžia apskaičiuoti branduolių sukinius (vėliau)
- Geba paaiškinti magiškuosius skaičius.
  Jie yra (eksperimentiškai stebėti):
  Neutronams: 2,8,20,28,50,82,126
  Protonams: 2,8,20,28,50,82
  Atome: 2,10,18(Ar),36,54,...
- Ne taip sėkmingai prognozuoja branduolių magnetinius momentus

Kodėl atsiranda sluoksniai? Pavyzdys

Sluoksnių egzistavimo eksperimentinis akivaizdumas

Nuokrypis nuo empirinės masės formulės

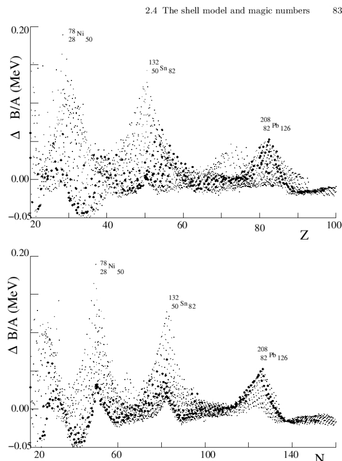


Fig. 2.8. Difference in MeV between the measured value of B/A and the value calculated with the empirical mass formula as a function of the number of protons Z (top) and of the number of neutrons N (bottom). The large dots are for β-stable nuclei. One can see maxima for the magic numbers $Z, N = 20, 28, 50, 82$, and 126. The largest excesses are for the doubly magic nuclides as indicated.

Sluoksnių egzistavimo eksperimentinis akivaizdumas

Vieno nukleono atskyrimo energija

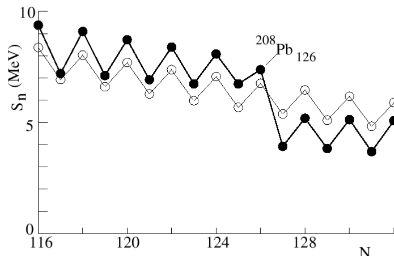


Fig. 2.7. The neutron separation energy in lead isotopes as a function of N. The filled dots show the measured values and the open dots show the predictions of the Bethe–Weizsäcker formula.

Centrinio potencialo dalis

Saxon-Woods potencialas (plg. su ankstesnėse paskaitose pateiktais):

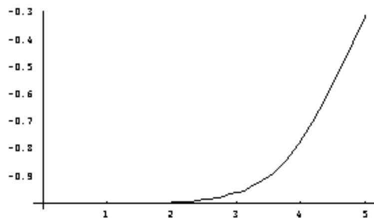
$$V(r) = -\frac{V_0}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

Tipinės vertės $V_0 \approx 50$ MeV, $a \approx 0.5$ fm. R yra branduolio radiusas. Tiksliai nesisprendžia (nėra kaip pedagogiškai pailiustruoti)

Kvantinė dalelė potencinėje duobėje

Priminimas-intarpas su Mathematica sąsiuviniu, kaip sprendžiamas tikrinių verčių uždavinys

Saxon-Woods potencialas



Labai plokščias vidurys (nėra sąveikos).

3D osciliatoriaus hamiltonianas

Tas pats kas 3 nepriklausomi vienmačiai:
$H = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$ Atsakymas

$$E_n = (n + \frac{3}{2})\hbar\omega \quad n = n_x + n_y + n_z$$

Dėl sukinio į tą patį lygmenį galim sutalpinti po 2 daleles.

- $n = 1$ $100, 010, 001$ viso 6 dalelės
- $n = 2$ $110, 101, 011, \quad 200, 020, 002$ viso 12 dalelių
- $n = 3$ $111, 210, 201, 120, 021, 102, 012, 300, 030, 003$ viso 20 dalelių

Kaip ir Coloumb potenciale energijos priklauso tik nuo n ir nepriklauso nuo ℓ. Išsigimimas $2\ell + 1$

Sluoksninis modelis

3D osciliatoriaus hamiltonianas

Atomui buvo energijos lygmenų išsigimimas n, ℓ, m_ℓ, m_s

$$2\sum_{\ell=0}^{n-1}(2\ell+1) = 2n^2$$

Čia n ir ℓ sieja kitokia taisyklė, būtent

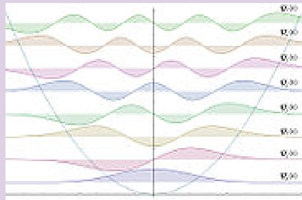
n	0	1	2	3	4	5	6
ℓ	0	1	0, 2	1, 3	0, 2, 4	1, 3, 5	0, 2, 4, 6

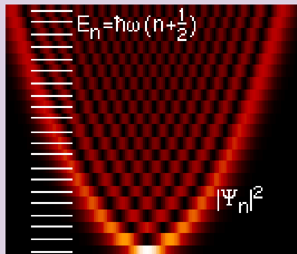
$N(n)$	2	6	12	20	30	42	56
ΣN	2	8	20	40	70	112	168

Negerai. Bet gal egzistuoja kitas potencialas?

Sluoksninis modelis

Harmoninio osciliatoriaus banginės funkcijos ir tikimybės





Sukinio-orbitos sąveikos svarba

Prie centrinio potencialo pridedam

$$V_{LS}(r)\frac{\hat{L}\cdot\hat{S}}{\hbar^2}$$

Koeficientas priklauso nuo r! Narys panaikina išsigimimą ir dabar energija jau priklauso nuo ℓ. Apsiribokim kol kas sukiniu 1/2 Koks tada tokio nario įnašas. Reik apskaičiuot operatoriaus vidurkį

$$\left\langle\frac{\hat{L}\cdot\hat{S}}{\hbar^2}\right\rangle$$

. Pasinaudojam $J = L + S$, tada $J^2 = (L+S)^2 = L^2 + S^2 + 2L\cdot S$ Arba:

$$\frac{\hat{L}\cdot\hat{S}}{\hbar^2} = \frac{1}{2}(J^2 - L^2 - S^2) = j(j+1) - \ell(\ell+1) - S(S+1)$$

1 Įvadas ir trumpa apžvalga
- Tvarka ir atsiskaitymai
- Rekomenduojama literatūra
- Kodėl reikalingas branduolio teorijos kursas?

2 Charakteringi dydžiai ir žymėjimai
- Atstumo mąsteliai branduolio fizikoje
- Branduolių klasifikacija ir jų žymėjimas

3 Ryšio energija. Masės mąsteliai branduolio fizikoje.

1 XXXXXXXXXXXXX.

1 XXXXXXXXXXXXX.

1 XXXXXXXXXXXXX.

Sluoksninis modelis

Spektras: 3D harmoninio osciliatoriaus

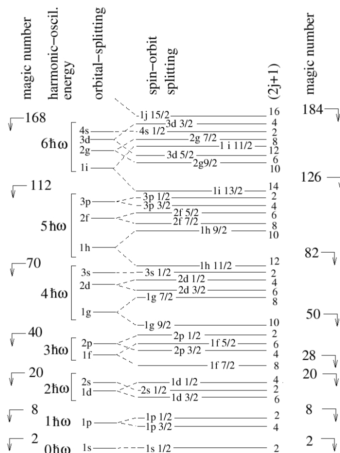
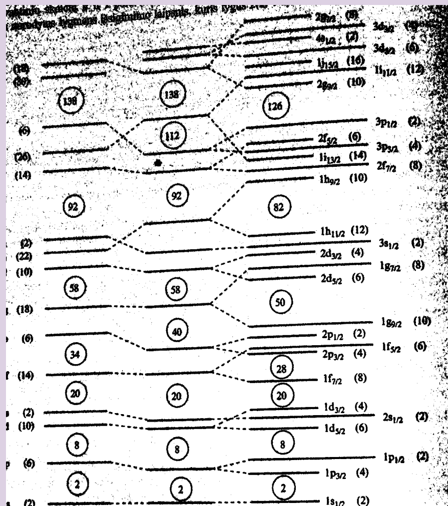


Fig. 2.10. Nucleon orbitals in a model with a spin-orbit interaction. The two left-most columns show the magic numbers and energies for a pure harmonic potential. The splitting of different values of the orbital angular momentum l can be arranged by modifying the central potential. Finally, the spin-orbit coupling splits the levels so that they depend on the relative orientation of the spin and orbital angular momentum. The number of nucleons per level $(2j + 1)$ and the resulting magic

Sluoksninis modelis

Spektras: sferinės begalines duobės



...kleono energijos lygmenų diagramos, apskaičiuotos skirtingo pavidalo nukleono potencinėms ... branduolio sluoksninį modelį. Didžiausioji galima kiekvieno lygmens užpilda nurodyta skliausteliuose ... skaičiai – tai „magiškieji skaičiai", kurie atitinka užpildytus sluoksnius. Kairioji diagrama ... baigtinio gylio potencialo duobę, vidurinioji diagrama atitinka realistišką potencialo duobės priklausomybę ... koordinatės, tačiau be sukinio ir orbitos sąveikos, o dešinioji diagrama gauta atsižvelgus į ... sąveiką (iš [21])

Sukinio-orbitos sąveikos svarba

Prie centrinio potencialo pridedam

$$V_{LS}(r)\frac{\hat{L}\cdot\hat{S}}{\hbar^2}$$

Koeficientas priklauso nuo r! Narys panaikina išsigimimą ir dabar energija jau priklauso nuo ℓ. Apsiribokim kol kas sukiniu 1/2 Koks tada tokio nario įnašas. Reik apskaičiuot operatoriaus vidurkį

$$\left\langle\frac{\hat{L}\cdot\hat{S}}{\hbar^2}\right\rangle.$$

Pasinaudojam $J = L + S$, tada
$J^2 = (L+S)^2 = L^2 + S^2 + 2L\cdot S$ Arba:

$$\frac{\hat{L}\cdot\hat{S}}{\hbar^2} = \frac{1}{2}(J^2 - L^2 - S^2) = j(j+1) - \ell(\ell+1) - S(S+1)$$

Sluoksninis modelis

Sukinio-orbitos sąveikos svarba

Iš čia seka, $\Delta E = \left\langle \hat{L} \cdot \hat{S} \right\rangle V_{LS}(r) = (2\ell + 1)\frac{\hbar^2}{2}$, jei apsiribosim

$$\begin{cases} \frac{\ell}{2}, & j = \ell + \frac{1}{2} \\ \frac{-(\ell+1)}{2}, & j = \ell - \frac{1}{2} \end{cases}$$

Išvada: suskilimo dydis proporcingas ℓ. Todėl esant pakankamai dideliam ℓ lygmenys ims „kirstis". Skirtumas nuo atomo: $V_{LS}(r)$ yra neigiamas.
Numatymai: pildom $2j + 1$ sluoksnius ${}^{17}_{8}O1$.
Protonams: $(1s_{\frac{1}{2}})^2(1p_{\frac{3}{2}})^4(1p_{\frac{1}{2}})^2$.
Neutronams $(1s_{\frac{1}{2}})^2(1p_{\frac{3}{2}})^4(1p_{\frac{1}{2}})^2(1d_{\frac{5}{2}})^1$

Judesio kiekio momentas kvantinėje mechanikoje

Branduolio judesio kiekio momentas

$$|\mathbf{I}|^2 = I(I+1)\hbar^2$$

Jo projekcija $m_I\hbar$, kur $m_I = I, I-1, I-2, \ldots, -I$
Didžiausia galima projekcija yra $I\hbar$, ir ji vadinama judėjimo kiekio momentu, arba sukiniu.

Vertės branduoliams

lyginiams-lyginiams
$I = 0$
lyginiams-nelyginiams
$I = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \ldots$
nelyginiams-nelyginiams
$I = 1, 2, 3 \ldots$
didžiausia stabilaus branduolio $I = \frac{9}{2}$
didžiausia nestabilaus yra $^{200}_{93}Bi$: $I = 7$
Paaiškinimas.

Sukinio apibrėžimo branduoliams ypatybė

„Sukiniu" buvo pavadintas pilnasis visų nukleonų orbitinių ir sukininių judesio kiekio momentų suma $L_J = \sum_i^A (L_i + L_{si})$

Multipoliai

Svarbiausi apibrėžimai

Sukinio egzistavimas pasireiškia mechaniniu ir magnetiniu mometais

$$\mu = g_j \, j \, \mu_N, \quad \mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p} = 5.0510^{-27} Am^2$$

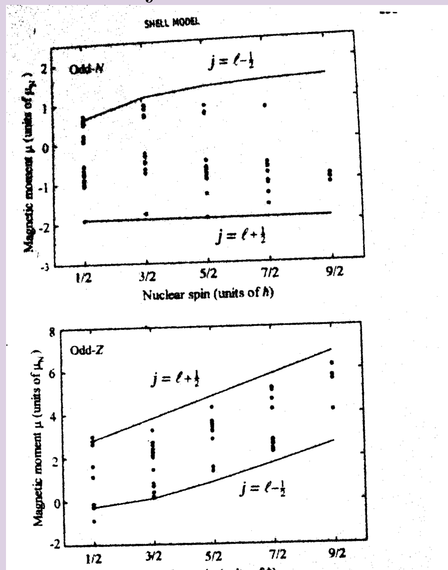
kur μ– branduolio magnetinis momentas
g_j– Lande g-faktorius
μ_N– branduolio magnetonas Dalelės magnetinio momento ir judesio kiekio momento (sukinio) santykis vadinamas giromagnetiniu santykiu

$$\gamma = \frac{\mu}{j} = g_j \frac{e\hbar}{2m_p}$$

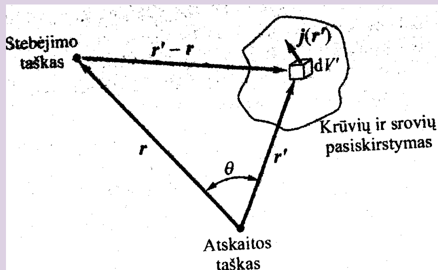
γ– giromagnetinis santykis
μ– branduolio magnetinis momentas
Kaip matuojami sukiniai ir magnetiniai momentai?

Kaip magnetinius momentus numato sluoksninis modelis

Smidto linijos



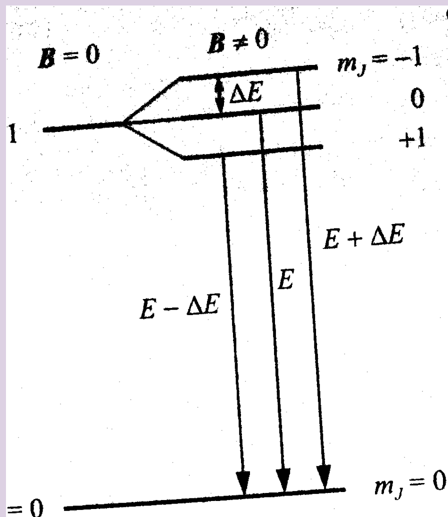
Srovės momentų apibrėžimas



7.8 pav. Srovės elementas $j(r')dV'$ turi įtakos vektoriniam potencialui stebėjimo taške r. Pilnutinis vektorinis potencialas kiekviename taške gaunamas integruojant visą srovių pasiskirstymą (iš [18])

Sluoksninis modelis

Zeeman efektas branduoliams



7.9 pav. Branduolinis Zėmano efektas

Sluoksninis modelis

ProtonNeutronMM

The charge and magnetic moment densities of protons and neutrons are shown in Fig. 3.24. We note that the neutron has a positively charged core of radius ~ 0.3 fm surrounded by compensating negative charge between 0.3 and 2 fm.

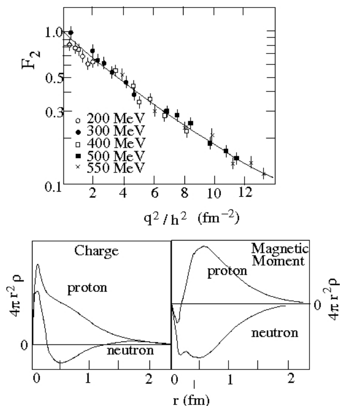


Fig. 3.24. Top panel: the experimental values of the proton form factor $|F(q^2)|^2$ [8]. The curve is the predicted form factor for an exponential charge distribution with a mean charge radius of 0.8 fm. Bottom panel: the derived charge and magnetic moment densities of the proton and neutron [33].

Multipoliniai momentai

Apibrėžimas

- Kaip matyti, kai kurie branduoliai yra ypatingai stipriai surišti lyginant su savo kaimynais: ^{4}He, ^{12}C, ^{16}O. Tai aiškina sluoksninis (angl. shell) branduolio modelis. Palyginkite su inertinių dujų atomų savybėmis.

Vieno nukleono ryšio energija branduolyje B/A.

